



Kampweg 5  
Postbus 23  
3769 ZG Soesterberg

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 346 35 62 11  
F +31 346 35 39 77  
Info-DenV@tno.nl

**TNO-rapport****TNO-DV 2008 A230****Optimalisatie draagsysteem**

Datum	juni 2008
Auteur(s)	drs. C.L. Koerhuis J. van Schijndel ir. P. Rensink
Rubricering rapport	Ongerubriceerd
Vastgesteld door	maj H.J. van den Brink
Vastgesteld d.d.	20 mei 2008 (Deze rubricering wijzigt niet)
Titel	Ongerubriceerd
Managementuittreksel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Exemplaarnummer	7
Oplage	13
Aantal pagina's	27 ( excl. RDP & distributielijst)

**20080917048**

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

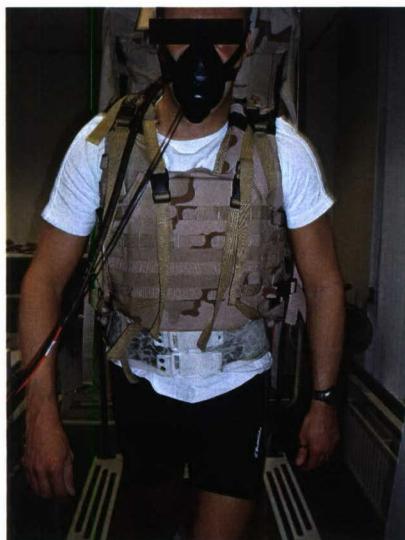
Indien dit rapport in opdracht van het ministerie van Defensie werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Modelvoorwaarden voor Onderzoeks- en Ontwikkelingsopdrachten' (MVDT 1997) tussen de minister van Defensie en TNO indien deze op de opdracht van toepassing zijn verklaard dan wel de betreffende ter zake tussen partijen gesloten overeenkomst.

© 2008 TNO

AQ F08-12-11342

# Optimalisatie draagsysteem

Militair optreden wordt door een aantal nadelen van het huidige draag- en bepakkingsysteem (Ops-vest, ballistisch vest, rugzak) negatief beïnvloed: weinig mobiliteit (doordat het Ops-vest, ballistisch vest en rugzak over elkaar heen gedragen worden), afsteuning van de last voornamelijk op de schouders en slechts gedeeltelijk modulair. Het ontwikkelen van een draag- en bepakkingsysteem, dat de last voor het grootste deel afsteunt op de heupen, veel mobiliteit geeft, modulair is opgebouwd en het dragen van last en bescherming integreert, kan tot betere operationele prestaties leiden



## Probleemstelling

In het kader van het programma 'Soldaat effectiviteit' is op basis van deze eisen een prototype geïntegreerde bepakkings (Integrated load Carriage System (ILCS)) ontwikkeld (Koerhuis *et al.*, 2007). Naast verbeterde bewegelijkheid, veroorzaakte kanteling van de heupband een onacceptabele mate van discomfort. Dit kan enerzijds veroorzaakt worden door de

heupband (pasvorm, afsteunpositie, afsteunoppervlakte) en anderzijds door de draagconstructie van het ILCS (krachtritssl (krachtrichting) en rotatiepunten (posities)).

Voor optimalisatie van het ILCS moeten dus twee stappen doorlopen worden:

- 1 Optimalisatie van de heupband (afsteunpositie, afsteunoppervlakte, pasvorm).

- 2 Evaluatie van de draagconstructie in combinatie met de geoptimaliseerde heupband en eventuele optimalisatie van de draagconstructie.

## Beschrijving van de werkzaamheden

Om de kanteling van de heupband te minimaliseren is een heupband van kunstgips gemaakt die optimaal aansluit op het lichaam. Ondanks de optimale pasvorm kantelde de heupband nog steeds iets, resulterend in discomfort. Uit nadere evaluatie van de draagconstructie van het ILCS bleek dat de afsteunkracht op de heupband niet geheel verticaal gericht was. Hierdoor ontstaat een onnodig (en onacceptabele) hoge voorwaartse drukkracht op de heupband. Daarnaast werd om ergonomische redenen de kracht niet in

lijn met het gemiddelde balanspunt van de heupband aangebracht, maar er achter. Echter, dit veroorzaakte een kanteling van de heupband. Na het aanpassen hiervan zijn bij één proefpersoon testen gedaan waarbij de prestatie (discomfort, fysiek ervaren inspanning, HF en VO2) tijdens het dragen van het huidige draagsysteem (scherfwerende vest en kogelwerende platen + rugzak) vergeleken is met de prestatie tijdens het lopen met het geoptimaliseerde ILCS (met verticaal gerichte afsteunkracht: ILCS-II). Bij het ILCS-II is gevarieerd met de hoeveelheid afsteuning op heupen en schouders, alsmede met de samenstelling van de heupband (hard, zacht).

## Resultaten en conclusies

Hoewel de testen slechts bij één proefpersoon zijn uitgevoerd en er dus geen harde uitspraken over de resultaten kunnen worden gedaan, hebben de testen voldoende inzichten gegeven. Met het ILCS-II alle last afsteunen op de heupen geeft te veel discomfort. Het gedeeltelijk afsteunen van de last op de heupen en schouders met dit systeem heeft zowel voordelen (minder discomfort,

minder fysiek ervaren inspanning) als nadelen (kleine toename in HF en VO2) ten opzichte van het huidige draagsysteem. Verwacht wordt dat de minimale fysiologische nadelen (VO2 en HF) verholpen kunnen worden door voor het ILCS-II andere materialen of vormen te gebruiken waardoor de last dichter tegen de rug aan komt.

### Toepasbaarheid

Door de vermindering in discomfort, maar ook door de verbetering van de beweeglijkheid van het ILCS(-II) ten opzichte van het dragen van een scherfwerend vest met kogelwerende platen, gevonden in een eerdere studie (Koerhuis *et al.*, 2007), lijkt het ILCS-II ten opzichte van het huidige draagsysteem een meerwaarde te bieden voor operationeel optreden. Operationele aanpassingen als een 'easy access' systeem moeten in de toekomst ook in het ILCS-II verwerkt zijn.

### PROGRAMMA

#### Programmabegleider

-

#### Programmaleider

-

#### Programmatitel

-

#### Programmanummer

-

#### Programmaplanning

-

#### Frequentie van overleg

Met de projectbegeleider werd vier maal gesproken over de invulling en de voortgang van het onderzoek.

### PROJECT

#### Projectbegeleider

maj R.A.J. de Wit, Bureau SMP

maj J. van den Brink, Bureau SMP

#### Projectleider

drs. C.L. Koerhuis,

TNO Defensie en Veiligheid,

#### Projecttitel

Optimalisatie draagsysteem

#### Projectnummer

032.13231/01.01

#### Projectplanning

Start 01-06-2007

Gereed 25-04-2008

#### Projectteam

J. van Schijndel

ir. P. Rensink

drs. C.L. Koerhuis

### Contact en rapportinformatie

Kampweg 5  
Postbus 23  
3769 ZG Soesterberg

T +31 346 35 62 11  
F +31 346 35 39 77

Info-DenV@tno.nl

**TNO-rapportnummer**  
TNO-DV 2008 A230

**Opdrachtnummer**

**Datum**  
juni 2008

**Auteur(s)**  
drs. C.L. Koerhuis  
J. van Schijndel  
ir. P. Rensink

**Rubricering rapport**  
Ongerubriceerd



## Samenvatting

### *Inleiding*

Het ontwikkelen van een draag- en bepakkingsysteem, dat de last voor het grootste deel afsteunt op de heupen, veel mobiliteit geeft, modulair is opgebouwd en het dragen van last en bescherming integreert, kan tot betere operationele prestaties leiden.

In het kader van het programma 'Soldaat effectiviteit' is op basis van deze eisen een prototype geïntegreerde bepakkingsysteem (Integrated load Carriage System (ILCS)) ontwikkeld (Koerhuis *et al.*, 2007). Naast een aantal positieve aspecten, veroorzaakte kanteling van de heupband een onacceptabele mate van discomfort. Dit kan enerzijds veroorzaakt worden door de heupband (pasvorm, afsteunpositie, afsteunoppervlakte) en anderzijds door de draagconstructie van het ILCS (krachtenspel (krachtrichting en grootte) en rotatiepunten (posities en rotatieassen)).

### *Methode*

Om de oorzaak van de kanteling van de heupband te achterhalen is allereerst een optimaal passende heupband van kunstgips gemaakt. Aangezien met deze heupband niet geheel de kanteling en het bijbehorend discomfort verholpen kon worden, bleek aanpassing van de draagconstructie (verticaal richten van de afsteunkracht op de heupen en afsteunkracht in lijn met balanspunt van de heupband) noodzakelijk om het probleem op te lossen. Na aanpassing van de draagconstructie zijn bij één proefpersoon getest gedaan waarbij de prestatie (discomfort, fysiek ervaren inspanning, HF en VO<sub>2</sub>) tijdens het dragen van het huidige draagsysteem (scherfwerend vest en kogelwerende platen + rugzak) vergeleken is met de prestatie tijdens het lopen met het geoptimaliseerde ILCS (met verticaal gerichte afsteunkracht: ILCS-II). Bij het ILCS-II is gevarieerd met de hoeveelheid afsteuning op heupen en schouders, alsmede met de samenstelling van de heupband (hard, zacht).

### *Resultaten*

Hoewel de testen slechts bij één proefpersoon zijn uitgevoerd en er dus geen harde uitspraken over de resultaten kunnen worden gedaan, hebben de testen voldoende inzichten gegeven. Met het ILCS-II alle last afsteunen op de heupen geeft te veel discomfort. Het gedeeltelijk afsteunen van de last op de heupen en schouders met dit systeem resulteert vergeleken met het huidige draagsysteem in minder discomfort (0,3 en 1,2 respectievelijk) en een lagere fysiek ervaren inspanning (12 en 13,1 respectievelijk). De toename in HF is tijdens het lopen met het ILCS-II hoger dan met het huidige draagsysteem (3,8 slagen/min).

### *Conclusie*

Het gedeeltelijk afsteunen van de last op de heupen en schouders met dit systeem heeft zowel voordelen (minder discomfort, minder fysiek ervaren inspanning) als nadelen (kleine toename in HF) ten opzichte van het huidige draagsysteem. Aangezien, naast bovenstaande bevindingen ook aangetoond is dat, zonder dragen van last (op de rug), de beweeglijkheid van het ILCS-II ten opzichte van het dragen van een scherfwerend vest met kogelwerende platen verbeterd is (Koerhuis *et al.*, 2007), lijkt het ILCS-II ten opzichte van het huidige draagsysteem een meerwaarde te bieden voor operationeel optreden.

## Summary

### *Introduction*

Operational performance can be improved by a load carriage system with load carried predominantly on the hips, increased mobility and integration of the protective vest and load carriage into one system. As part of the program 'Soldier efficacy' a load carriage system was developed on the above mentioned requirements (Integrated Load Carriage System (ILCS), Koerhuis *et al.*, 2007). Besides positive aspects, tilting of the hip belt caused an unacceptable amount of discomfort. This could be explained by the hip belt itself (fitting, point of impact and area of the load on the hip belt) or by the construction of the ILCS.

### *Method*

To assess the cause of the tilting of the hip belt, first an hip belt was made which fitted optimally on one human body. Despite the optimal fit, tilting of the hip belt still occurred. Therefore, the construction of the load carriage system needed to be optimized. After optimization of the construction of the ILCS (ILCS-II), the performance (discomfort, Rate of Perceived Exertion (RPE), heart rate (HR) and oxygen consumption (V02)) while wearing the ILCS-II was compared with the performance while wearing the current load carriage system (ballistic vest and backpack) by one subject. While wearing the ILCS-II, the distribution of the load carried on the hips and shoulders and the characteristics of the hip belt (rigid, soft) were varied.

### *Results*

Although only one subject was tested, assessing the performance of this subject wearing the ILCS-II and the current vest was very useful. Wearing the ILCS-II, with all the load carried on the hips, resulted in an unacceptable amount of discomfort. Wearing the ILCS-II, with the load partly carried on the hips and shoulders, resulted in less discomfort (0.3 and 1.2 respectively) and a lower RPE score (12 and 13.1 respectively) compared to wearing the current load carriage system. The increase in HR during walking was higher wearing the ILCS-II compared to the current load carriage system (3.8 beats/minute).

### *Conclusion*

Wearing the ILCS-II (with the load distributed on the hips and shoulders) has both advantages (less discomfort, lower RPE) and disadvantages (small increase in HR) compared to wearing the current load carriage system. Besides these results, in an earlier study an improved mobility was found wearing the ILCS-II compared to the current load carriage system (Koerhuis *et al.*, 2007). Based on these results, the ILCS-II seems to be an improvement for the operational performance compared to the current load carriage system.

## Inhoudsopgave

<b>Managementuittreksel.....</b>	<b>2</b>
<b>Samenvatting.....</b>	<b>4</b>
<b>1 Inleiding.....</b>	<b>7</b>
<b>2 Optimalisatie heupband .....</b>	<b>9</b>
2.1 Testen heupband in combinatie met huidige draagconstructie.....	9
<b>3 Optimalisatie draagconstructie.....</b>	<b>10</b>
3.1 Oude situatie.....	10
3.2 Optimalisatie.....	11
3.3 Dragen .....	12
3.4 Controle (stabiliseren, sturen) .....	14
3.5 Draagpoef .....	15
<b>4 Integratie draagsysteem en beschermend vest .....</b>	<b>19</b>
<b>5 Vergelijking draagsystemen .....</b>	<b>20</b>
5.1 Resultaten .....	20
<b>6 Discussie .....</b>	<b>23</b>
<b>7 Conclusies .....</b>	<b>25</b>
<b>8 Referenties.....</b>	<b>26</b>
<b>9 Ondertekening .....</b>	<b>27</b>

## 1 Inleiding

Het huidige draag- en bepakkingsysteem (Ops-vest, ballistisch vest, rugzak) heeft een aantal nadelen waardoor het militair optreden negatief beïnvloed wordt: weinig mobiliteit (doordat het Ops-vest, ballistisch vest en rugzak over elkaar heen gedragen worden), afsteuning van de last voornamelijk op de schouders en slechts gedeeltelijk modulair. Verbeterd militair optreden kan bereikt worden door een draag- en bepakkingsysteem te ontwikkelen, dat de last voor het grootste deel afsteunt op de heupen, veel mobiliteit geeft, modulair opgebouwd is en het dragen van last en bescherming integreert. In het kader van het programma ‘Soldaat effectiviteit’ is op basis van deze eisen een prototype geïntegreerde bepakkingsysteem (Integrated Load Carriage System (ILCS)) ontwikkeld (Koerhuis *et al.*, 2007). Met dit prototype zijn veldtesten uitgevoerd waarbij, naast een aantal positieve aspecten, een aantal knelpunten naar voren kwamen. Het belangrijkste knelpunt was de afsteuning van de last op de heupband. Aangezien de last bij voorkeur zo dicht mogelijk bij de werklijn van de last ondersteund wordt (direct onder de last, waardoor ‘achterover kantelende’ moment minimaal is), leek het vanuit ergonomisch oogpunt wenselijk om aan de achterzijde van de heupband af te steunen. Dit leverde in de veldtesten echter een onacceptabele mate van discomfort op. Afsteuning van de last aan de achterzijde van de heupband heeft, naast het ergonomische voordeel, het nadeel dat de heupband gaat kantelen over de lijn tussen de heupbotten<sup>1</sup>. Aangezien de heupband niet optimaal tegen de onderrug aansloot, kon deze kanteling niet worden opgevangen en gingen de harde randen van de heupband in de onderrug en bilspier staan. Dit zorgde voor een oncomfortabele druk op de onderrug en bilspier, met uitstraling naar de bovenbenen tot gevolg. Het ergonomische voordeel werd door deze mate van discomfort volledig teniet gedaan. In dit project moet nagegaan moet worden of het kantelen van de heupband en het daarbij optredende discomfort opgevangen kan worden door optimalisatie van de heupband (pasvorm, afsteunpositie, afsteunoppervlakte) of dat ook de draagconstructie van het ILCS (krachtenspel (krachtrichting) en rotatiepunten (posities)) geoptimaliseerd moet worden. De volgende twee stappen moeten hiervoor doorlopen worden:

- 1 Optimalisatie van de heupband (afsteunpositie, afsteunoppervlakte, pasvorm).
- 2 Evaluatie van de draagconstructie in combinatie met de geoptimaliseerde heupband en eventuele optimalisatie van de draagconstructie.

Voor de optimalisatie van zowel de heupband als de draagconstructie moet de oorzaak van de kanteling van de heupband en het daarbij behorende discomfort zo goed mogelijk in kaart gebracht worden. Hiervoor zou, met behulp van modellen, een krachtenmomentanalyse van de draagconstructie inclusief heupband gemaakt kunnen worden. Echter, we voorzien dat dit een kostbare weg wordt en dat het advies op basis van deze analyse niet per definitie resulteert in de meest optimale combinatie van draagconstructie en heupband in de praktijk. De meest optimale combinatie kan wel gecreëerd worden door een heupband en waar nodig een draagconstructie te

---

<sup>1</sup> De heupband wordt door het lichaam ondersteund door een oneindige hoeveelheid wrijvingsvlakken tussen lichaam en heupband. Het gemiddelde van de loodlijnen op deze wrijvingsvlakken vormt een fictief draaipunt in het lichaam. Omdat dit fictieve punt in redelijke mate overeenkomt met het lichaamsmiddelpunt tussen de heupbotten spreken we in dit document over de positie van de heupband in relatie tot de heupbotten.

ontwikkelen, die direct in de praktijk getest kunnen worden en door een nauwkeurige analyse van de bevindingen bijgesteld kunnen worden.

Na het doorlopen van deze stappen kan een uitspraak worden gedaan over de haalbaarheid van het opleveren van een ILCS in 2009-2010, dat voldoet aan de opgestelde eisen (afsteuning van de last op de heupen met minimaal discomfort, beweeglijkheid en de integratie van het draagsysteem en bescherming in één systeem.

## 2 Optimalisatie heupband

Onafhankelijk van de afsteunpositie- en oppervlakte van de draagconstructie op de heupband, is de mogelijkheid tot kantelen van de heupband het kleinste indien de heupband zo optimaal mogelijk aansluit op het lichaam. Als uitgangspunt is daarom bij één persoon een heupband van kunstgips gemaakt, die optimaal aansluit op de onderrug. Ter hoogte van de heupbotten is een versteviging aangebracht die ervoor zorgt dat de beugel op de heupband kan afsteunen. Deze, qua pasvorm, meest optimale heupband wordt vervolgens gekoppeld aan de huidige draagconstructie van het ILCS. Door de optimale heupband kunnen eventuele nog aanwezige beperkingen direct worden toegeschreven aan de draagconstructie, die waar nodig geoptimaliseerd kan worden.

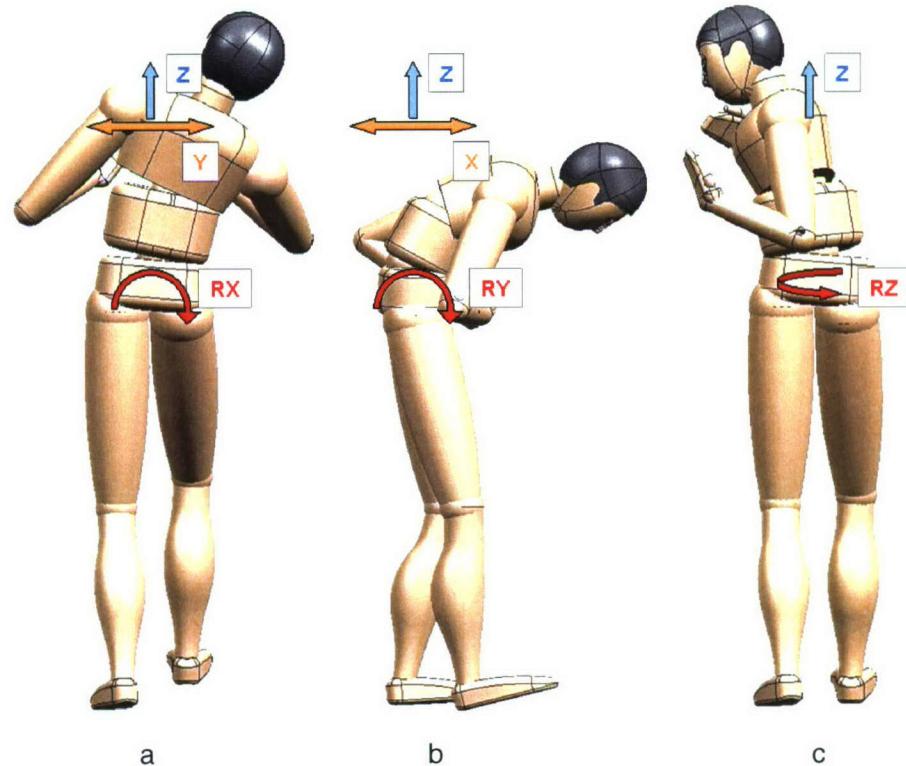
### 2.1 Testen heupband in combinatie met huidige draagconstructie

Door de afsteuning van de last (30 kg) achter de heupbotten is, bij het dragen van de geoptimaliseerde heupband, de kanteling van de heupband ten opzichte van de onderrug aanzienlijk gereduceerd. Echter, de minimale kanteling zorgt er nog steeds voor dat de heupband oncomfortabel in het lichaam wordt gedrukt bij het dragen van lasten vanaf 30 kg. Het verplaatsen van het afsteunpunt op de heupband richting de heupbotten levert weliswaar minder kanteling van de heupband op, maar geeft nog steeds een oncomfortabele druk op de heupbotten. Hieruit kan geconcludeerd worden dat bij een optimale heupband, onafhankelijk van de afsteunpositie op de heupband, een bepaalde mate van discomfort wordt ervaren. Om deze mate van discomfort te reduceren is nadere analyse van de draagconstructie noodzakelijk.

### 3 Optimalisatie draagconstructie

Zoals in de inleiding aangegeven zijn de eisen, die aan de draagconstructie gesteld zijn: afsteuning van de last voornamelijk op de heupen, modulaire opbouw, integreren van dragen en beschermen en mobiliteit om militaire taken uit te kunnen voeren.

Om mobiliteit te garanderen moet de draagconstructie bepaalde lichaamsbewegingen toestaan door om bepaalde assen te kunnen draaien. In figuur 1 staat aangegeven om welke assen gedraaid moet kunnen worden.



Figuur 1 Rotatieassen:

- Draaiing over RX levert een (zijwaartse) verplaatsing van het bovenlichaam in de richting Y.
- Draaiing over RY levert een (voor- of achterwaartse verplaatsing / buiging) van het lichaam in het bovenlichaam in de richting X.
- Draaiing over RZ levert een draaiing over de lichaamsas.

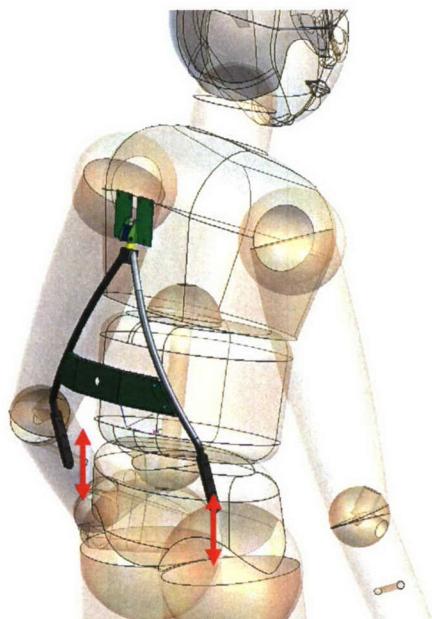
#### 3.1 Oude situatie

Ondanks het vervangen van de oude heupband (geen optimale pasvorm) door een nieuwe heupband (optimale pasvorm) is het discomfort, hoewel in mindere mate, nog steeds aanwezig. Dit wordt veroorzaakt doordat:

- De draagconstructie de massa niet optimaal overdraagt op de heupband.

Dit resulteert ofwel in het kantelen van de heupband (indien de last achter de heupbotten wordt afgesteund) of het effect van een knietje in de rug (indien de last op de heupbotten wordt afgesteund).

- De wiegbeweging van de heupen bij het lopen (zie rode pijlen figuur 2), wordt belemmerd. De verticale verplaatsing van de heupen wordt via de driehoeksvorm in de beugel direct naar de last doorgevoerd. Het bewegen van de heupen kan alleen indien ook de last wordt verplaatst.
- De last valt achterover. Het aangrijppingspunt om dit te voorkomen moet bij voorkeur zo hoog mogelijk liggen, zodat de benodigde kracht minimaal is. In het ILCS systeem ligt dit punt relatief laag. Hoger plaatsen is hier niet mogelijk omdat hierdoor de zijwaartse (Y, figuur 1) bewegingen van het lichaam worden belemmerd. Het draaipunt van het systeem (diabolo) is immers aan de bovenzijde van de driehoek geplaatst.
- De beugel heeft, onder belasting, de neiging in te zakken of weg te kantelen. De krachten op de heupband nemen dan toe waardoor dit effect zichzelf versterkt. Dit wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van 2 draaipunten (heupscharnier en diabolo hebben beide rotatievrijheid in RY). De heupband en het vest moeten beide scharnieren in hun positie houden. Deze delen blijken hiervoor echter niet sterk genoeg door de grote krachten die hier optreden.



Figuur 2 Oude situatie (ILCS uit Koerhuis *et al.*, 2007).

### 3.2 Optimalisatie

Om de problemen in de oude situatie te verbeteren zijn de bewegingen van het lichaam geanalyseerd. Er wordt onderscheid gemaakt in de 2 benodigde functies:

- Dragen.
- Controle (stabiliseren, sturen).

Nader gespecificeerd is het dragen uit te drukken in een richting Z, controle gebeurt in de richtingen X en Y (zie ook figuur 1). De heupen zorgen voor het dragen van de last. De gebruiker stabiliseert en stuurt door voor- of achterover te hangen, te draaien of een zijwaartse beweging te maken. Met name het bovenlichaam heeft zodoende de functie 'controle'. De verlangde situatie is te vergelijken met een stok die op de grond staat (figuur 3). De onderkant van de stok zou dan de bevestiging aan de heupband zijn

(draagfunctie) en kan niet verplaatsen. De bovenkant van de stok zou dan de bevestiging aan het borstpand zijn en kan draaien om het vaste punt op de heupband (controle functie).

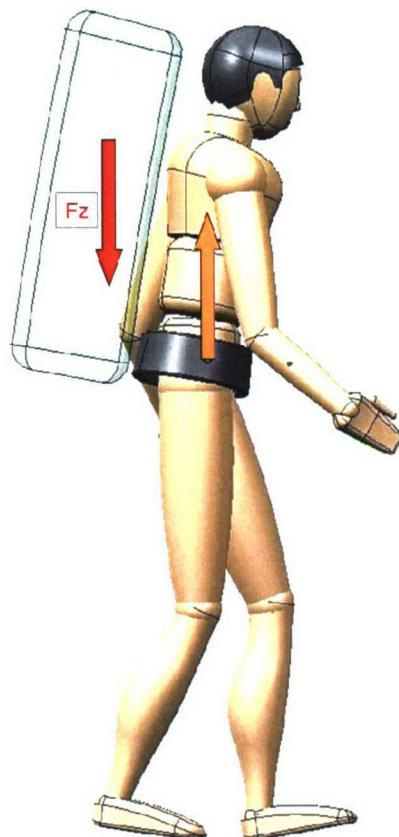


Figuur 3 Illustratie om de functies van het lichaam (dragen en controle) in kaart te brengen.

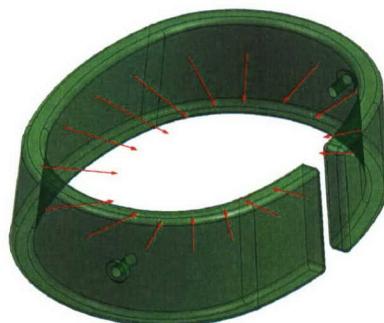
### 3.3 Dragen

De massa van het draagsysteem levert, onder invloed van de zwaartekracht, een kracht  $F_z$  uit die (verticaal) naar beneden is gericht (-Z). Om de last te dragen is dus een kracht nodig in tegengestelde richting; Z (figuur 4). De ideale locatie voor deze kracht bevindt zich op de zwaartelijn van het lichaam. Immers, afwijken van deze lijn betekent dat het lichaam uit balans wordt gebracht. Voor de verticale positie geldt dat de kracht zo laag mogelijk op het lichaam moet worden aangebracht op statische lichaamsdelen, dat wil zeggen boven de benen.

De heupband is de interface tussen lichaam en last. De geleverde kracht  $F_z$  wordt hier vertaald naar een klemkracht rondom het lichaam. De klemkracht is te omschrijven als het totaal van een oneindig aantal kleine krachten die vanuit de band naar het lichaam zijn gericht (figuur 5). Het gewogen punt waar deze krachten samenkommen is het draaipunt van de heupband (ten opzichte van het lichaam). Dit punt bevindt zich eveneens midden in het lichaam, maar niet per se op dezelfde locatie als het boven genoemde punt.



Figuur 4 Krachtenspel op heupband.



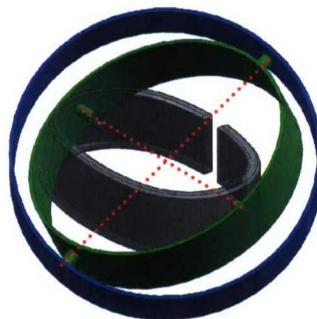
Figuur 5 Klemkracht in de heupband.

De eerder genoemde stok (figuur 3) moet dus midden in het lichaam afsteunen (Z).

De stok moet daarnaast met de onderste punt op zijn positie blijven; X en Y.

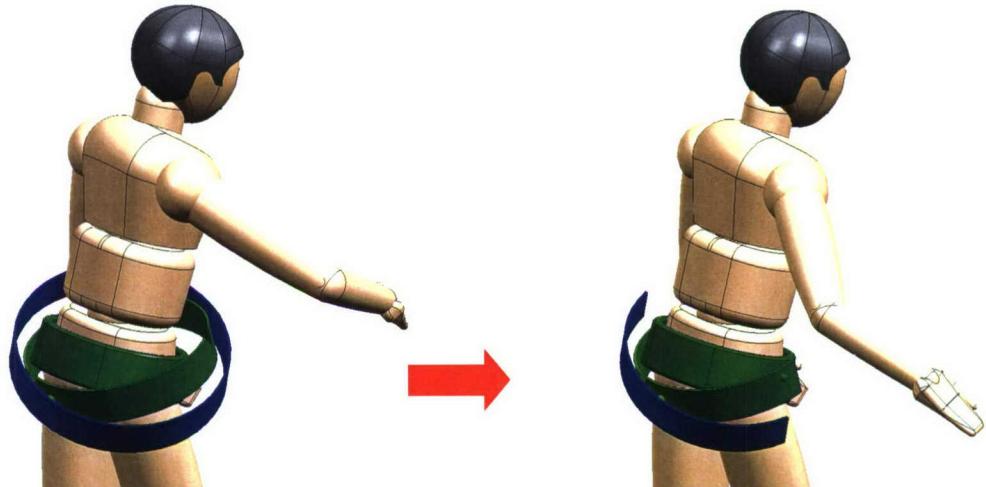
De rotatiemogelijkheden van dit punt moeten ten slotte vrij zijn (RX, RY en RZ).

Deze complexiteit aan eisen kan alleen worden behaald met een zogenaamd virtueel draaipunt (figuur 6). Afgebeeld is een zogenaamd Cardan. Deze bestaat uit 3 ringen: de heupband en 2 rotatieringen. De 1<sup>e</sup> rotatiering zit met een RY-as gekoppeld aan de heupband en kan zodoende draaien over RY. De 2<sup>e</sup> ring zit vervolgens met een RX-as aan de 1<sup>e</sup> ring gekoppeld. De 2<sup>e</sup> rotatiering kan zo over RX en RY draaien tov de heupband. Het draaipunt wordt gevormd door de snijlijnen van de assen.



Figuur 6 Illustratie van een virtueel draaipunt gevormd door de snijlijnen van 3 rotatie-assen.

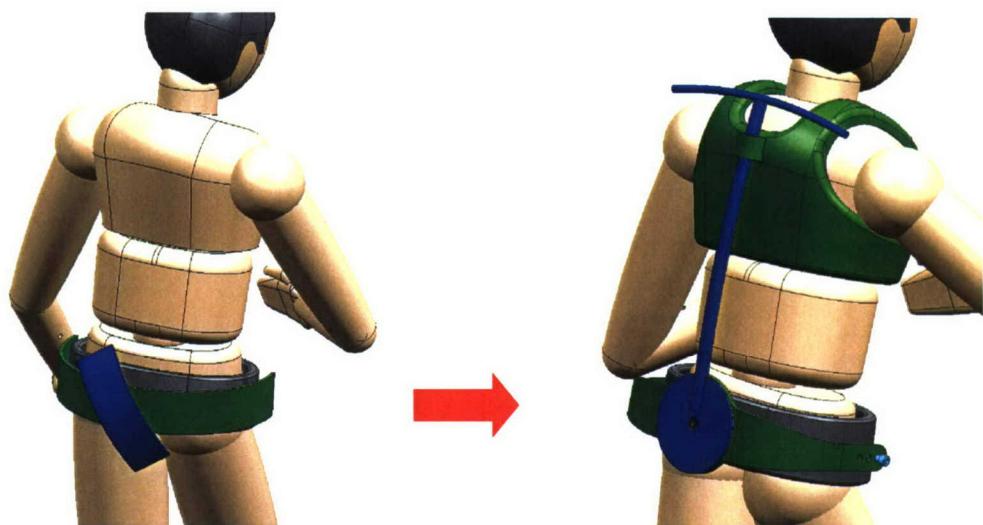
De rotatieringen zijn niet praktisch in een werkend model te integreren. Gekozen wordt daarom om de 1<sup>e</sup> rotatiering (groen) te halveren. Dit betekent dat de 2<sup>e</sup> rotatiering (blauw) nog maar op 1 plaats aan de 1<sup>e</sup> rotatiering gekoppeld is (figuur 7). De koppeling wordt dan extra belast.



Figuur 7 Halvering van rotatieringen, noodzakelijk om het sluiten en afkoppelen van de heupband mogelijk te maken.

### 3.4 Controle (stabiliseren, sturen)

Het bovenlichaam zorgt voor controle. De 2<sup>e</sup> rotatiering wordt doorgetrokken tot het vest. Zo ontstaat de vorm van een enkel rotatiepunt met een lange staf (Figuur 8). Het vest heeft een stabiliserende en sturende functie. In het voorbeeld met de stok moet deze, met het bovenste punt, enkel in een bepaalde positie worden gehouden.



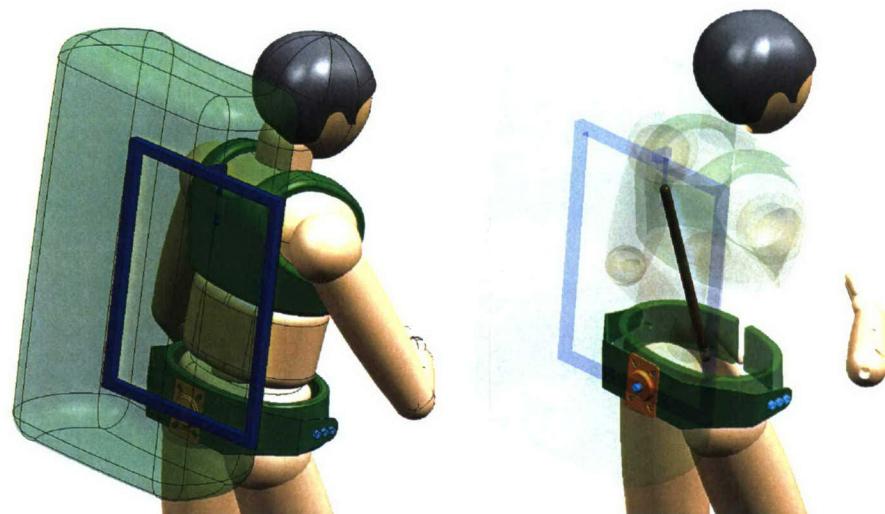
Figuur 8 Verbinden van de 2° rotatiering aan het vest.

### 3.5 Draagpoeef

De draag- en controlefuncties zijn verwerkt in een testbaar prototype waar zware lasten aan gehangen kunnen worden (figuur 9). Het prototype is aangesloten op de geoptimaliseerde heupband (van kunstgips). Met dit prototype zijn draagtesten gedaan waarbij een last van 26,7 kg is gedragen. Aangezien voor deze optimalisatie in eerste instantie één heupband (op maat, van kunstgips) gemaakt is, kan de draagtest slechts bij één persoon uitgevoerd worden. Hoewel in de toekomst bij meer personen getest moet worden, geeft de test bij één persoon voldoende inzicht in het functioneren van het geoptimaliseerde draagsysteem.

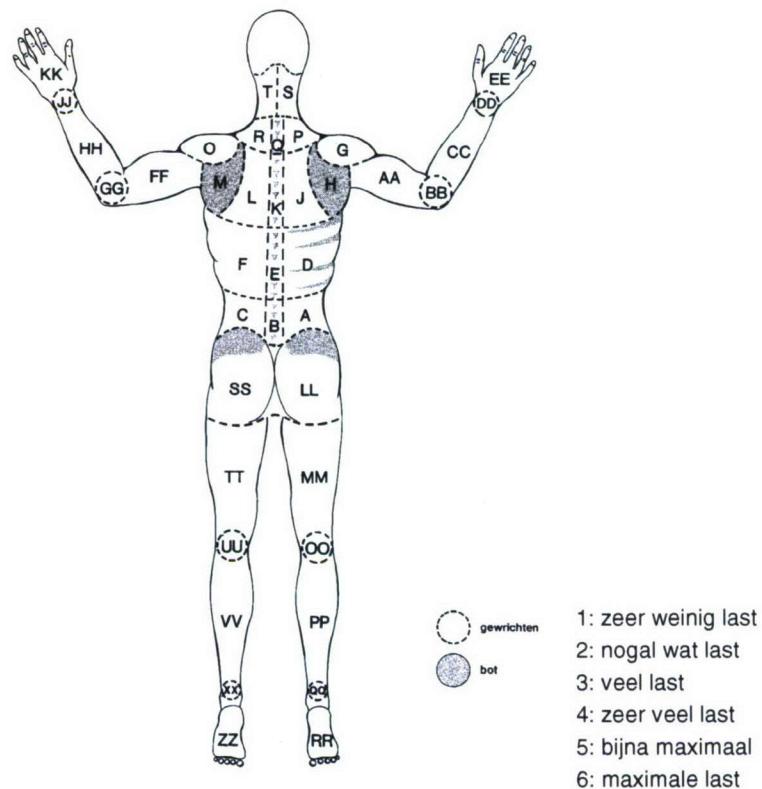
- Bij de eerste draagtest werd gedurende 30 minuten gelopen waarbij de last volledig werd afgesteund op de heupen (geen schouderbanden)
- Bij de tweede draagtest werd gedurende 30 minuten gelopen waarbij de last voor het grootste deel werd afgesteund op de heupen. Door middel van schouderbanden was het mogelijk een deel van de last af te steunen op de schouders.

Tijdens de looptesten werd iedere 5 minuten gevraagd naar fysiek ervaren inspanning (BORG-schaal) en Lokaal Ervaren Ongemak (LEO-score). Voor fysiek ervaren inspanning kon een score gegeven worden tussen 6 (geen inspanning) en 20 (maximale inspanning). De LEO-score kon voor verschillende lichaamsdelen ingevuld worden variërend van 0 (geen enkele last) tot 6 (maximale last) (figuur 10).



Figuur 9 Testbaar prototype waarin draag- en controlefuncties zijn verwerkt.

In tabellen 1, 2 en 3 staan de LEO-scores en de BORG-scores weergegeven tijdens het dragen van last met volledige afsteuning op de heupen en gedeeltelijke afsteuning op de heupen.



Figuur 10 LEO-pop met de verschillende regionen waarin een score voor lokaal ervaren discomfort kan worden aangegeven variërend van 0: geen last tot 6: maximale last.

Tabel 1 LEO-scores per 5 minuten en de gemiddelde score (gem) met afsteuning van de last volledig op de heupen.

Tijd	L schouder (O,R)	R schouder (P,G)	L heup (C)	R heup (A)	L onderbeen (VV)	R onderbeen (PP)
0	1	1	2	0	0	0
5	1	0	3	2	0	0
10	0	0	3	2	0	0
15	0	0	4	1	1	0
20	0	0	4	2	0	0
25	0	0	4	2	1	0
30	1	1	4	2	0	0
gem	0,4	0,3	3,4	1,6	0,3	0

Tabel 2 LEO-scores per 5 minuten en de gemiddelde score (gem) met afsteuning van de last gedeeltelijk op de heupen.

Tijd	L schouder (O,R)	R schouder (P,G)	L heup (C)	R heup (A)	L onderbeen (VV)	R onderbeen (PP)
0	1	1	1	1	0	0
5	0	0	2	1	0	0
10	0	0	3	2	0	0
15	0	0	2	1	0	0
20	0	0	2	2	0	0
25	0	0	2	2	0	0
30	0	0	2	2	0	0
gem	0,1	0,1	2	1,6	0	0

Tabel 3 BORG-score per 5 minuten en de gemiddelde score (gem) tijdens het lopen met last die volledig is afgesteund op de heupen en tijdens het lopen met last die gedeeltelijk is afgesteund op de heupen.

Tijd (min)	BORG-score afsteuning op heupen	BORG-score gedeeltelijke afsteuning op heupen
0	11	11
5	13	11
10	13	12
15	13	11
20	13	11
25	13	11
30	12	11
gem	12,6	11,1

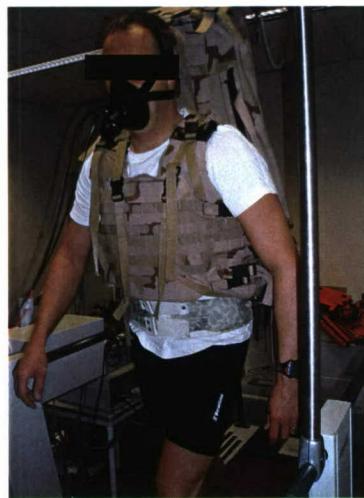
Ergonomisch gezien moet het grootste deel van de last worden afgesteund op de heupen, maar niet alle last. Echter, om het krachtenspel in het draagsysteem inzichtelijk te maken is in eerste instantie alle last op de heupen afgesteund. Bij afsteuning van de last volledig op de heupen werden de nadelen van 'de oude situatie' van het draagsysteem (kanteling van heupband bij afsteuning van last achter de heupbotten en gevoel van 'knieetje in de rug' bij afsteuning van de last op de heupbotten) niet meer ervaren. Zoals verwacht levert het afsteunen van alle last op de heupen lokaal discomfort op (gemiddelde score: 3,4). De schouders bleven hierbij volledig onbelast. Echter, tijdens militair optreden lijkt de meest ideale verdeling van de last op schouders en heupen respectievelijk 1/3 en 2/3 deel van de totale last te zijn. Door met behulp van

schouderbanden een deel van de last af te steunen op de schouders kan het discomfort op de heupen verminderd worden. In bovenstaand experiment werd, indien een deel van de last op de schouders werd afgesteund, voor discomfort op de heupen en schouders een gemiddelde score van respectievelijk 2,0 en 0,1 gegeven. Per individu moet een optimaal evenwicht in afsteuning op de heupen en afsteuning op de schouders ingesteld worden zodat de discomfort scores op de heupen lager komen te liggen, zonder dat de toename in afsteuning van de last op de schouders nadelige effecten als belemmerende doorbloeding et cetera (zoals bij de huidige rugzak het geval is) teweeg brengen.

## 4 Integratie draagsysteem en beschermend vest

Uit voorgaande draagtest ontstond er, bij afsteuning van alle last op de heupen, alleen een lokale druk op de heupen. Het uitblijven van kanteling van de heupband en het feit dat de schouders onbelast blijven geeft aan dat het krachtenspel in het draagsysteem goed functioneert. Met behulp van schouderbanden is het mogelijk de last iets meer van de heupen af te halen en op de schouders te tillen waardoor de mate van discomfort op zowel de heupen als schouders draaglijk zijn.

In de inleiding is aangegeven dat het aanpassen van het draagsysteem tot verbeterd militair optreden kan leiden. Hierbij moet het dragen van last en bescherming geïntegreerd worden in één systeem. Om dit te bereiken moet aan het draagsysteem een scherfwerend vest met kogelwerende platen gekoppeld worden waarvan de last door middel van het draagsysteem wordt afgesteund op de heupen, zonder dat dit nadelige gevolgen heeft voor de beweeglijkheid. In het prototype draagsysteem uit figuur 9 'hangt' het scherfwerende vest met kogelwerende platen niet aan het draagsysteem en wordt dus ook niet afgesteund op de heupen. Daarbij zal het scherfwerende vest met kogelwerende platen tijdens rotaties tegen de grote vierkante constructie aankomen, waardoor de beweeglijkheid aanzienlijk beperkt wordt. Om het scherfwerende vest met kogelwerende platen ook af te steunen op de heupen met behoud van beweeglijkheid, is het vierkante deel op de rug uit figuur 9 vervangen door een verticale staf. Bovenop de verticale staf wordt het scherfwerende vest met kogelwerende platen door middel van een 3D-rotatiepunt gekoppeld (vergelijkbaar met ILCS (Koerhuis *et al.* (2006)) figuur 11, geoptimaliseerde ILCS (ILCS-II)). Door middel van het verkorten of verlengen van de verticale staf kan de mate van afsteuning op de heupen en schouders geregeld worden: verlenging van de verticale staf resulteert in meer afsteuning op de heupen, verkorting van de verticale staf resulteert in meer afsteuning op de schouders.



Figuur 11 Geoptimaliseerde ILCS (ILCS-II): ILCS waarbij de afsteunkracht op de heupen verticaal gericht is en de kogel- en scherfwerende delen afgesteund kunnen worden op de heupen.

## 5 Vergelijking draagsystemen

In de eerder beschreven testen (paragraaf 3.5) is aangetoond dat de last optimaal op de heupen afgesteund kan worden (waarbij enige afsteuning op de schouders gewenst blijft). Het is nog onduidelijk wat de metabole belasting van dragen van last met het ILCS-II is vergeleken met het dragen van last met het huidige draagsysteem (beide gecombineerd met scherfwerend vest met kogelwerende platen). De loopefficiëntie alsmede de afstand tussen de last en de rug kunnen van invloed zijn op de metabole belasting.

Tijdens deze vergelijking wordt gebruik gemaakt van de (harde) geoptimaliseerde heupband (voor één persoon gemaakt). Hierdoor kan de draagtest slechts bij één persoon uitgevoerd worden. Doordat bij de nieuwe draagconstructie de heupband niet meer kantelt, is het niet meer noodzakelijk een individuele heupband te maken met een optimale pasvorm. Andere heupbanden, die voor verschillende personen geschikt zijn, zouden ook kunnen functioneren. Echter, om de resultaten te kunnen vergelijken met de voorgaande test (draag- en controletest met prototype uit figuur 9), wordt in deze test gebruik gemaakt van dezelfde heupband.

In de toekomst zal bij verschillende personen getest moeten worden, maar de test bij één persoon geeft in eerste instantie voldoende inzicht in het functioneren van het ILCS-II vergeleken met het huidige draagsysteem.

Om het ILCS-II en huidige draagsysteem te vergelijken is gedurende 45 minuten op een loopband gelopen met een snelheid van 5 km/uur. De totale last die gedragen werd is 35 kg (25 kg in de rugzak, 10 kg scherfwerend vest met kogelwerende platen). De looptest werd uitgevoerd op vijf verschillende dagen, zodat eventuele lokale pijnpunkten geen invloed kunnen hebben op een volgende test. In tabel 4 staan de te testen draagsystemen (condities) op de verschillende dagen.

Tabel 4 Testcondities.

Conditie	Omschrijving conditie
1	Huidige systeem (rugzak + scherfwerend vest met kogelwerende platen)
2	ILCS-II (met vest, volledige afsteuning op heupen) (harde) geoptimaliseerde heupband
3	ILCS-II (met vest, 2 cm verkorting verticale staf) (harde) geoptimaliseerde heupband
4	ILCS-II (met vest, 2 cm verkorting verticale staf) Zachte niet geoptimaliseerde heupband
5	ILCS-II (met vest, 4 cm verkorting verticale staf) (harde) geoptimaliseerde heupband

Om de metabole belasting tijdens het dragen van last met de verschillende condities te vergelijken is gedurende de gehele test de zuurstofopname bepaald (VO2). Tevens is continu de hartslagfrequentie (HF) gemeten. Daarnaast is elke 5 minuten een score voor lokaal ervaren discomfort (LEO-score) en fysiek ervaren inspanning (BORG) gegeven. De loopbewegingen zijn continu geregistreerd door video opnames.

### 5.1 Resultaten

Doordat slechts bij een proefpersoon de verschillende condities zijn vergeleken is een statistische analyse niet mogelijk. Wel kan op basis van het vergelijken van de

meetresultaten voldoende inzicht verkregen worden in het functioneren van de verschillende condities. Doordat tussen de verschillende condities minimaal 2 dagen rust zat, kon eventuele ontstane vermoeidheid geen invloed hebben op de volgende testconditie.

### BORG

In tabel 5 staan de scores voor fysiek ervaren inspanning elke 5 minuten weergegeven.

Tabel 5 Scores voor fysiek ervaren inspanning (BORG); elke 5 minuten en gemiddelde scores. De test werd bij het dragen van condities 2 en 4 vroegtijdig afgebroken in verband met discomfort.

Tijd (min)	Conditie 1	Conditie 2	Conditie 3	Conditie 4	Conditie 5
0	13	12	11	12	11
5	13	12	12	12	11
10	13	12	12	12	12
15	13	12	12	12	12
20	13	12	12		12
25	14		13		12
30	13		12		12
35	13		12		12
40	13		12		13
45	13		13		13
gem	13,1	12	12,1	12	12

### LEO

In tabel 6 staan de scores voor het lokaal ervaren ongemak (LEO) weergegeven.

Tabel 6 Scores voor lokaal ervaren ongemak (LEO); elke 5 minuten en gemiddelde scores. S: Schouder, bestaande uit O,R,P,G uit figuur 10; H: heup, bestaande uit A,C uit figuur 10. De test werd bij het dragen van conditie 2 en 4 vroegtijdig afgebroken in verband met discomfort.

Tijd	Conditie 1		Conditie 2		Conditie 3		Conditie 4		Conditie 5	
	H	S	H	S	H	S	H	S	H	S
0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
5	0	1	2	0	1	0	1,3	0	0,3	0
10	0	1	2	0	1,5	0	1,5	0	0,3	0
15	0	1,5	3	0	1,5	0	1,8	0	0,3	0
20	0	1	3,5	0	1,5	0			0,3	0
25	0	1,5			1,5	0			0,3	0
30	0	1			1	0			0,3	0
35	0	2			1,5	0			0,3	0
40	0	1			1	0			0,3	0
45	0	1,5			1,5	0			0,5	0
gem	0	1,2	2,3	0	1,2	0	1,4	0	0,3	0

**HF**

In tabel 7 staan voor de verschillende condities de absolute hartslagfrequenties (HF) per 5 minuten weergegeven. Tevens is de toename in HF ten opzichte van de beginwaarde (tijdstip=0) bepaald.

Tabel 7 Hartslagfrequenties, elke 5 minuten en gemiddeld, voor de verschillende condities. De test werd bij het dragen van conditie 2 en 4 vroegtijdig afgebroken in verband met discomfort. Abs: absolute gemeten waarde; ΔHF: toename ten opzichte van startwaarde op tijdstip 0.

Tijd	Conditie 1		Conditie 2		Conditie 3		Conditie 4		Conditie 5	
	abs	ΔHF	abs	ΔHF	abs	ΔHF	abs	ΔHF	abs	ΔHF
0	65	0	61	0	64	0	69	0	79	0
5	97	32	110	49	103	39	101	32	115	36
10	99	34	116	55	105	41	110	41	119	40
15	101	36	115	54	109	45	112	43	122	43
20	107	42	112	51	102	38			121	42
25	104	39			111	47			124	45
30	105	40			108	44			120	41
35	103	38			110	46			125	46
40	108	43			113	49			121	42
45	106	41			111	47			127	48
gem	99,5	34,5	102,8	41,8	103,6	39,6	98	29	117,3	38,3

**VO2**

In tabel 8 staan de voor de verschillende condities de gemiddelde zuurstofopnames (van de laatste 3 minuten) van elke gemeten periode van 5 minuten weergegeven. Tevens staan de toe- of afnames in VO2 ten opzichte van de beginwaarde (tijdstip=0) weergegeven.

Tabel 8 Gemiddelde zuurstofopnames voor de verschillende condities. De test werd bij het dragen van conditie 2 en 4 vroegtijdig afgebroken in verband met discomfort. Abs: absolute gemeten waarde; ΔVO2: toename ten opzichte van startwaarde op tijdstip 0.

tijd	Conditie 1		Conditie 2		Conditie 3		Conditie 4		Conditie 5	
	abs	ΔVO2	abs	ΔVO2	abs	ΔVO2	abs	ΔVO2	abs	ΔVO2
0-5	1430	0	1665,6	0	1539	0	1535,2	0	1617,7	0
10-15	1409	-21	1674,1	8,5	1578,9	39,9	1526,6	-8,6	1523,8	-93,9
20-25	1392,9	-37,1			1556,8	17,8			1509,6	-108,1
30-35	1420,8	-9,3			1589,4	50,4			1532,1	-85,6
40-45	1423,1	-6,9			1576,5	37,5			1528,7	-89,0
gem	1415,2	-14,9	1669,9	4,3	1568,1	29,1	1530,9	-4,3	1542,4	-75,3

**Videoregistratie**

Op basis van analyse van de videobeelden (zijaanzicht) blijkt dat de proefpersoon met het huidige draagsysteem (conditie 1) met het bovenlichaam iets verder naar voren gebogen staat ( $15^\circ$  vanaf de verticale heuplijn) vergeleken met het ILCS-II (conditie 5) ( $11^\circ$  vanaf de verticale heuplijn). Verder bleek de last bij het huidige draagsysteem (conditie 1) lager op de rug te hangen in vergelijking met het ILCS-II (conditie 2 tot en met 5). De bewegingen van de rugzak ten opzichte van het lichaam was niet verschillend voor de verschillende condities.

## 6 Discussie

Voor optimalisatie van het ILCS (resulterend in ILCS-II) zijn twee stappen doorlopen. Optimalisatie van de heupband (afsteunpositie, afsteunoppervlakte, pasvorm) en optimalisatie van de draagconstructie (krachtenspel (krachtrichting) en rotatiepunten (posities)).

In deze studie bleek dat, ondanks een op maat gemaakte heupband, bij afsteuning van de last achter de heupbotten, de heupband nog steeds kantelde en dus discomfort opleverde. Het verplaatsen van het afsteunpunt op de heupband richting de heupbotten leverde weliswaar minder kanteling van de heupband op, maar gaf nog steeds een oncomfortabele druk op de heupbotten. Hieruit kon geconcludeerd worden dat de oorzaak van het discomfort op de heupen niet de heupband maar de constructie (krachtenspel, rotatiepunten) van het ILCS was, waardoor de massa niet goed kon worden overdragen op de heupband (richting van afsteunkracht niet geheel verticaal gericht). Na het verhelpen van dit probleem zijn testen gedaan waarbij de prestatie tijdens het dragen van het huidige draagsysteem (scherfwerend vest met kogelwerende platen + rugzak) vergeleken is met de prestatie tijdens het lopen met het ILCS-II. Hoewel de testen slechts bij één proefpersoon zijn uitgevoerd en er dus geen harde uitspraken over de resultaten kunnen worden gedaan, hebben de testen wel inzichten gegeven op basis waarvan kan worden aangegeven of het ILCS-II een verbetering is ten opzicht van het huidige draagsysteem en in die zin verder uitontwikkeld zou moeten worden om in de toekomst een operationeel inzetbaar systeem te worden.

Uit de testen is naar voren gekomen dat met het ILCS-II een goede balans kan worden gezocht in afsteuning op heupen en schouders met minimaal discomfort (conditie 5). Meer discomfort ontstaat indien het huidige draagsysteem wordt gedragen. Dit komt met name doordat heupband van de rugzak, door het onderliggende scherfwerende vest met kogelwerende platen, moeilijk aangetrokken kan worden waardoor bijna alle last op de schouders gedragen moet worden. Het discomfort wordt ook groter indien met het ILCS-II alle last op de heupen wordt afgesteund. Ook het vervangen van de 'harde' op maat gemaakte heupband door een zachte heupband vergroot de mate van discomfort doordat de 'harde' afsteunoppervlakte afneemt.

Evenals de mate van discomfort, is ook de fysiek ervaren inspanning gemiddeld het laagst bij het dragen van het ILCS-II met optimale balans in afsteuning (conditie 5) vergeleken met het huidige draagsysteem en de andere variaties van het ILCS-II. Bij het ILCS-II met optimale balans in afsteuning (conditie 5) bleek dat de HF en VO2 iets hoger waren dan bij het huidige draagsysteem. Echter, aangezien de rustwaardes in VO2 en HF verschilden kan een vergelijking in HF en VO2 tussen de verschillende condities alleen gemaakt worden indien naar toename ten opzichte van rustwaarde gekeken wordt. Hieruit kon geconcludeerd worden dat de HF toename bij het ILCS-II met optimale balans in afsteuning (conditie 5) iets hoger was (gemiddeld 3,8 sl/min) vergeleken met het huidige draagsysteem. De VO2 bleek ten opzichte van de rustwaardes alleen maar af te nemen, met een sterke afname in VO2 bij het dragen van het ILCS-II met optimale balans in afsteuning (conditie 5) en een iets minder afname in VO2 bij het dragen van het huidige draagsysteem.

Uit de variatie in rustwaardes blijkt al dat het binnen een persoon vergelijken van fysiologische parameters (HF en VO2) tijdens het dragen van verschillende draagconstructies lastig is. Hoewel daar dus ook niet te zware conclusies aan verbonden moeten worden, lijkt het fysiologisch slechts minimaal uit te maken of de huidige draagconstructie of het ILCS-II met optimale balans in afsteuning (conditie 5) gedragen wordt. Na analyse van de video-beelden blijkt de last bij het ILCS-II iets verder van de

rug af te hangen dan bij het huidige draagsysteem. Het minimale fysiologische nadeel van conditie 5 ten opzichte van het huidige draagsysteem zou daardoor verklaard kunnen worden (Knapik, 2004). Dit zou door optimalisatie van het ILCS-II, bijvoorbeeld door toepassen van lichtere en dunnere constructieve materialen voorkomen kunnen worden.

## 7 Conclusies

Uit de testen is naar voren gekomen dat met het ILCS-II een goede balans kan worden gezocht in afsteuning op heupen en schouders met minimaal discomfort. Evenals de mate van discomfort, is ook de fysiek ervaren inspanning gemiddeld het laagst bij het dragen van het ILCS-II met optimale balans in afsteuning vergeleken met het huidige draagsysteem en de andere variaties van het ILCS-II.

Aangezien, naast deze bevindingen ook aangetoond is dat, zonder dragen van last (op de rug), de beweeglijkheid van het ILCS-II) ten opzichte van het dragen van een scherfwerend vest met kogelwerende platen verbeterd is (Koerhuis *et al.*, 2007), lijkt het ILCS-II ten opzichte van het huidige draagsysteem een meerwaarde te bieden voor operationeel optreden: meer beweeglijkheid (zonder last op de rug), meer comfort (mits goed ingesteld), minder fysiek ervaren inspanning. Verwacht wordt dat de minimale fysiologische nadelen (VO<sub>2</sub> en HF) door materiaalaanpassingen verholpen kunnen worden. Het verder uitwerken van het ILCS-II tot een operationeel systeem wordt dus aanbevolen. Hiervoor moeten, naast materiaalaanpassingen, operationele aspecten ingebouwd worden als het door een militair zelf in kunnen stellen van de balans in afsteuning van de last op heupen en schouders en een 'easy access' systeem om het ILCS-II snel van het lichaam los te koppelen.

## 8 Referenties

Knapik, J.J.; Reynolds, K.L. & Harman, E. (2004),  
Soldier load carriage: historical, physiological, biomechanical, and medical aspects,  
*Military Medicine*, 169(1):45-56.

Koerhuis, C.L.; Reffelrath, P.A.; Rensink, P.; Groenewolt, E.M. & Schijndel, J. van (2007),  
*Evaluatie prototype geïntegreerde bepaking* (Evaluation of the prototype load carriage  
system), TNO-rapport, TNO-DV 2007 A251,  
TNO Defensie en Veiligheid, Soesterberg, Nederland.

## 9 Ondertekening

Soesterberg, juni 2008



prof. dr. H.A.M. Daanen  
Afdelingshoofd

TNO Defensie en Veiligheid



drs. C.L. Koerhuis  
Auteur

**ONGERUBRICEERD**  
**REPORT DOCUMENTATION PAGE**  
**(MOD-NL)**

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL) TD2008-0093	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO -	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO TNO-DV 2008 A230
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO 032.13231	5. CONTRACT NO -	6. REPORT DATE June 2008
7. NUMBER OF PAGES 27 (excl RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 2	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Optimization of the load carriage system (Optimalisatie draagsysteem)		
11. AUTHOR(S) C.L. Koerhuis, BSc; P. Rensink, MSc and J. van Schijndel		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Defence and Security, P.O. Box 23, 3769 ZG Soesterberg, The Netherlands. Kampweg 5, 3769 ZG Soesterberg, The Netherlands.		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Defensie, bureau SMP, Barchman Wuytierslaan 198, 3800 DA Amersfoort, The Netherlands		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) Besides positive effects of an earlier developed load carriage system in which the load was carried predominantly on the hips, mobility was increased and protection and load carriage was integrated into one system (ILCS), tilting of the hip belt caused an unacceptable amount of discomfort. After optimization of the construction of the ILCS (ILCS-II), the performance while wearing the ILCS-II was compared with the performance while wearing the current load carriage system. Wearing the ILCS-II, with all the load carried on the hips, resulted in an unacceptable amount of discomfort. Wearing the ILCS-II, with the load partly carried on the hips and shoulders, resulted in less discomfort and a lower RPE score compared to wearing the current load carriage system.. The increase in HR during walking was higher wearing the ILCS-II compared to the current load carriage system. Wearing the ILCS-II (with the load distributed on the hips and shoulders) has both advantages (less discomfort, lower RPE) and disadvantages (small increase in HR) compared to wearing the current load carriage system. Besides these results, in an earlier study an improved mobility was found wearing the ILCS-II compared to the current load carriage system. Based on these results, the ILCS-II seems to be an improvement for the operational performance compared to the current load carriage system.		
16. DESCRIPTORS Load carriage, Mobility, Load distribution, Protection		IDENTIFIERS
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd

**ONGERUBRICEERD**

## Distributielijst

**Onderstaande instanties/personen ontvangen een volledig exemplaar van het rapport.**

- 1 DMO/SC-DR&D  
standaard inclusief digitale versie bijgeleverd op cd-rom
- 2/3 DMO/DR&D/Kennistransfer
- 4 Projectbegeleider Defensie,  
maj R.A.J. de Wit
- 5 Projectbegeleider Defensie,  
maj J. van den Brink
- 6/8 Bibliotheek KMA
- 9 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg  
Archief
- 10/12 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg  
drs. C.L. Koerhuis  
ir. P. Rensink  
prof. dr. H.A.M. Daanen
- 13 TNO Industrie en Techniek, vestiging Eindhoven,  
ing. J.B. van Schijndel

**Onderstaande instanties/personen ontvangen het managementuittreksel en de distributielijst van het rapport.**

- 4 ex. DMO/SC-DR&D
- 1 ex. DMO/ressort Zeesystemen
- 1 ex. DMO/ressort Landsystemen
- 1 ex. DMO/ressort Luchtsystemen
- 2 ex. BS/DS/DOBBP/SCOB
- 1 ex. MIVD/AAR/BMT
- 1 ex. Staf CZSK
- 1 ex. Staf CLAS
- 1 ex. Staf CLSK
- 1 ex. Staf KMar
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Algemeen Directeur, ir. P.A.O.G. Korting
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie Directeur Operaties, ir. C. Eberwijn
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie Directeur Kennis, prof. dr. P. Werkhoven
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie Directeur Markt, G.D. Klein Baltink
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag, Manager Waarnemingssystemen (operaties), ir. B. Dunnebier PDeng
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag, Manager Beleidsstudies Operationele Analyse & Informatie Voorziening (operaties), ir. P. Schulein
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, Manager Bescherming, Munitie en Wapens (operaties), ir. P.J.M. Elands
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk, Manager BC Bescherming (operaties), ir. R.J.A. Kersten
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg, Manager Human Factors (operaties), drs. H.J. Vink